

STUDI PEMANFAATAN NANOFUIDA GRAFENA OKSIDA TERSIRKULASI PADA PROSES PENDINGINAN MESIN KENDARAAN

Reza Setiawan¹⁾, Ismojo¹⁾, Mohammad Kurniadi Rasyid¹⁾

1) Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Indonesia

E-mail: reza.setiawan@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Para peneliti dan industri berupaya meningkatkan efisiensi mesin untuk mengurangi pemanasan global dan emisi gas beracun, khususnya di Kabupaten Karawang, pusat sektor manufaktur otomotif terbesar di Asia Tenggara. Sistem pendingin mesin sangat penting, karena mengonsumsi sekitar sepertiga dari energi masukan. Faktor utama yang memengaruhi efisiensi ini adalah fluida jenis pendingin yang digunakan. Pendingin tradisional seperti air dan etilen glikol telah banyak digunakan, tetapi kinerjanya masih belum memadai dalam lanskap industri yang berkembang pesat. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan dan mengevaluasi cairan pendingin baru dengan potensi yang menjanjikan. Nanofuidia menghadirkan pilihan yang layak untuk aplikasi pendinginan mesin di masa mendatang. Konduktivitas termal grafena yang tinggi dari nanopartikel dapat meningkatkan kemampuan penyerapan panas dari cairan dasar. Metode penelitian adalah eksperimen, dengan tahapan penelitian studi literatur, persiapan bahan dan alat, instalasi alat pengujian, sintesis nanofuidia, karakterisasi nanofuidia, pengujian, analisis dan kesimpulan. Variabel penelitian meliputi fluida dasar, konsentrasi nanofuidia dan kecepatan sirkulasi. Variabel penelitian terdiri dari fluida dasar yakni air distilasi dan 50% air distilasi : 50% etilen glikol, konsentrasi Grafena Oksida 0,01%; 0,05% dan 0,1% volum serta kecepatan sirkulasi 3 L/min, 4 L/min dan 5 L/min. Hasil menunjukkan performasi perpindahan panas meningkat dengan menggunakan nanofuidia grafena oksida dibandingkan hanya dengan menggunakan 50% air distilasi : 50% etilen glikol dan air. Performasi perpindahan panas meningkat dengan semakin besarnya nano partikel yang terdispersi pada fluida dasar dan semakin besarnya laju aliran massa aliran sirkulasi.

Kata Kunci: Grafena, nanofuidia, tersirkulasi, pendinginan, mesin kendaraan

Pendahuluan

Para peneliti dan industri berupaya meningkatkan efisiensi mesin untuk mengurangi pemanasan global dan emisi gas beracun, khususnya di Kabupaten Karawang, pusat sektor manufaktur otomotif terbesar di Asia Tenggara. Sistem pendingin mesin sangat penting, karena mengonsumsi sekitar sepertiga dari energi masukan dan penyebab dari beberapa kegagalan mesin kendaraan. Faktor utama yang memengaruhi efisiensi mesin kendaraan ini adalah jenis pendingin yang digunakan. Pendingin tradisional seperti air dan etilen glikol telah banyak digunakan, tetapi kinerjanya masih belum memadai dalam lanskap industri kendaraan yang terus berkembang pesat. Hal yang berpengaruh pada proses pendinginan ini disebabkan karena fluida konvensional yang saat ini banyak digunakan memiliki keterbatasan sifat konduktivitas termal. Konduktivitas termal berperan dalam menyerap panas yang tidak dapat dihindari dari operasi mesin kendaraan. Penting untuk mengembangkan dan mengevaluasi cairan pendingin baru dengan potensi yang menjanjikan untuk masa depan.

Nanofuidia menghadirkan pilihan yang layak untuk aplikasi pendinginan mesin yang lebih efektif di masa mendatang. Konduktivitas termal nanofuidia meningkat karena didispersikannya padatan yang memiliki sifat termofisika konduktif tinggi kedalam cairan dasar sehingga menghasilkan cairan baru yang memiliki sifat konduktivitas lebih tinggi dari cairan konvensional biasa. Padatan yang digunakan berasal dari material nano partikel konduktif sehingga lebih mudah untuk didispersikan. Berbagai nano partikel telah banyak dibuat dan dipasarkan, namun saat ini nano partikel Grafena menduduki posisi teratas yang memiliki sifat terbaik konduktivitas termal 3.000-5.000 W/mK dibandingkan beberapa padatan logam lain yang umum digunakan. Konduktivitas termal grafena yang tinggi dapat meningkatkan kemampuan penyerapan panas dari cairan dasar yang signifikan.

Berbagai penelitian telah dilakukan berkaitan dengan pemanfaatan nanofluida grafena untuk cairan pendingin mesin kendaraan. Hasil menunjukkan bahwa nanofluida grafena mampu menyerap panas mesin kendaraan lebih baik dari cairan pendingin konvensional. Penelitian tersebut dibuktikan dengan kesimpulan data-data hasil pengujian eksperimen dan simulasi pada komputasi dinamika fluida/ CFD. Namun, dari berbagai hasil penelitian yang dilakukan masih terdapat banyak celah ruang lingkup penelitian yang belum dilakukan seperti belum cukupnya data pembuktian hasil pengujian eksperimen untuk penggunaan cairan dasar, konsentrasi grafena dan kecepatan sirkulasi.

Penelitian tentang nanofluida grafena yang telah dilakukan sebelumnya oleh para peneliti masih menyisakan banyak hal yang belum terungkap. Studi dilakukan melalui penelitian berbasis simulasi dan eksperimen perlu diperluas dan diperdalam. Beberapa penelitian yang sangat berkaitan erat yakni penelitian eksperimen performasi pendinginan pada radiator kendaraan fluida dasar air menggunakan nanofluida Grafena Oksida (GO) dan Grafena nano ribbon (GNR) [1]. Simulasi menggunakan komputasi dinamika fluida (CFD) pada nanofluida 40% Grafena Oksida didispersikan dalam air berbanding 60% etilen glikol dan temperature masuk 90 °C [2]. Penelitian eksperimen performasi radiator menggunakan nanofluida 0,1% berat dari Grafena Oksida pada fluida dasar campuran etilen glikol dan air deionisasi dengan temperatur masuk 90 oC dan variasi laju aliran 180-420 L/jam [3]. Penelitian peningkatan perpindahan panas menggunakan penambahan nano partikel hybrid Nanoplatelet/Nanokristal Selulosa Grafena pada sistem pendinginan kendaraan dengan fluida dasar 60% etilen glikol dan 40% air distilasi [4]. Penelitian-penelitian terkini yang telah dilakukan belum cukupnya data pembuktian hasil pengujian eksperimen untuk penggunaan cairan dasar, konsentrasi grafena dan kecepatan sirkulasi. Jenis cairan dasar yang digunakan banyak hanya pada air distilasi dan etilen glikol sehingga belum luas dan dalamnya terhadap penggunaan cairan dasar campuran air distilasi dan etilen glikol. Konsentrasi grafena yang digunakan kadarnya masih kecil antara 0,01-0,03% dari volume cairan dasar sehingga belum banyak yang menggunakan konsentrasi diatas 1%. Kecepatan sirkulasi yang digunakan masih bervariasi sehingga belum ada yang menggunakan kecepatan sirkulasi 1-3 m/s.

Studi Pustaka

Penelitian eksperimen performasi pendinginan pada radiator kendaraan fluida dasar air menggunakan nanofluida Grafena Oksida (GO) dan Grafena nano ribbon (GNR) dengan variasi konentrasi 0,01% dan 0,02% dari volume, pengujian temperature masuk fluida 36 °C, 40 °C dan 44 °C dan laju aliran volume 0,6 m³/h, 0,7 m³/h, 0,8 m³/h dan 0,9 m³/h. Hasil penelitian menunjukkan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) meningkat 20,64% pada nanofluida GO/air 0,02%, 15,62% padananofluida GO/air 0,01%, 26,08% pada nanofluida GNR/air 0,02% dan 5,41% pada nanofluida GNR/air 0,01% terhadap fluida dasar air (Kılınç et al., 2020). Simulasi menggunakan komputasi dinamika fluida (CFD) pada nanofluida 40% Grafena Oksida didispersikan dalam air berbanding 60% etilen glikol dan temperature masuk 90 °C dengan variasi laju aliran massa 180 L/jam, 240 L/jam, 300 L/jam, 360 L/jam dan 420 L/jam. Hasil simulasi menunjukkan terjadi penurunan temperatur (ΔT) dengan meningkatnya laju aliran massa yakni 29,72 °C pada laju aliran massa 180 L/jam, 27,18 °C pada laju aliran massa 240 L/jam, 27,03 °C pada laju aliran massa 300 L/jam, 24,92 °C pada laju aliran massa 360 L/jam dan 22,79 °C pada laju aliran massa 420 L/jam [2].

Penelitian eksperimen performasi radiator menggunakan nanofluida 0,1% berat dari Grafena Oksida pada fluida dasar campuran etilen glikol dan air deionisasi dengan temperatur masuk 90 °C dan variasi laju aliran 180-420 L/jam. Hasil pengujian menunjukkan 60% etilen glikol, 40% air deionisasi dan 0,1% berat Grafena Oksida meningkatkan kemampuan transfer panas. Peningkatan perpindahan panas sebesar 42,77% pada 300 L/jam, 18,14% pada 360 L/jam dan 71,1% pada 240 L/jam [3]. Penelitian peningkatan perpindahan panas menggunakan penambahan nano partikel hybrid Nanoplatelet/Nanokristal Selulosa Grafena pada sistem pendinginan kendaraan dengan fluida dasar 60% etilen glikol dan 40% air distilasi. Hasil penelitian menunjukkan nanofluida hybrid meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi (h) 51,91% dan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) 46,72% terhadap fluida dasar air

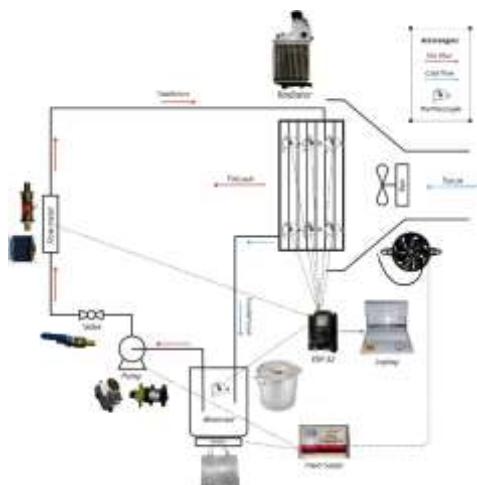
distilasi [4].

Metodologi

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Eksperimen dilakukan pada radiator sistem pendingin mesin kendaraan dengan menggunakan nanofluida berbasis Grafena Oksida (GO) dengan variasi konsentrasi dan laju aliran massa sirkulasi. Tahapan penelitian yang dilakukan dijelaskan pada gambar 1. berikut ini.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian



Gambar 2. Alat pengujian

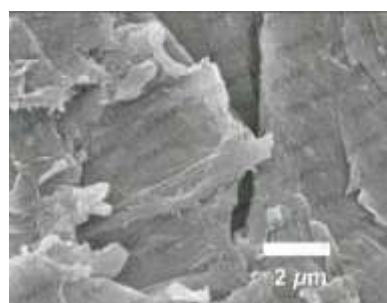
Variabel penelitian yang digunakan adalah fluida dasar, konsentrasi nano partikel dan kecepatan sirkulasi. Fluida dasar yang digunakan adalah Air Distilasi (AD) dan 50% Etilen Glikol (EG) : 50% Air Distilasi (AD). Material nano partikel yang didispersikan menjadi nanofluida adalah Grafena Oksida (GO) dengan konsentrasi 0,01 %, 0,05 % dan 0,1% dari volume. Debit sirkulasi (Q) sebesar 3 l/min, 4 l/min dan 5 l/min. Variabel penelitian dijelaskan pada table 3.1 berikut ini.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Air Distilasi (AD)	50% EG : 50% AD
GO 0,01%, v 3 l/min	GO 0,01%, v 3 l/min
GO 0,01%, v 4 l/min	GO 0,01%, v 4 l/min
GO 0,01%, v 5 l/min	GO 0,01%, v 5 l/min
GO 0,05%, v 3 l/min	GO 0,05%, v 3 l/min
GO 0,05%, v 4 l/min	GO 0,05%, v 4 l/min
GO 0,05%, v 5 l/min	GO 0,05%, v 5 l/min
GO 0,1%, v 3 l/min	GO 0,1%, v 3 l/min
GO 0,1%, v 4 l/min	GO 0,1%, v 4 l/min
GO 0,1%, v 5 l/min	GO 0,1%, v 5 l/min

Hasil dan Pembahasan

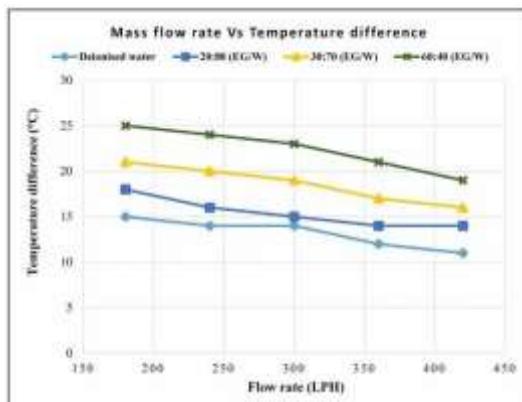
Hasil karakterisasi citra menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dari nano material Grafena Oksida terlihat pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. SEM grafena oksida

Gambar SEM pada perbesaran 15.000× menunjukkan morfologi khas dari material GO yang tersusun atas lembaran–lembaran tipis (*sheet-like structure*). Lembaran tersebut tampak bergelombang, tidak beraturan, dan saling bertumpuk, menandakan struktur berlapis (*layered morphology*) yang umum ditemukan pada GO hasil oksidasi grafit. Permukaan lembaran terlihat kasar dan berkerut (wrinkled), menunjukkan adanya deformasi akibat proses oksidasi serta keberadaan gugus oksigen fungsional seperti epoksi, hidroksil, dan karboksil yang menyebabkan meningkatnya jarak antar-lapisan. Celah-celah kecil pada struktur memperlihatkan porositas mikro, yang dapat berkontribusi terhadap peningkatan luas permukaan spesifik. Selain itu, lembaran GO tampak memiliki ketebalan tidak seragam, menandakan bahwa material tersusun dari kombinasi lembaran tunggal hingga multilayer. Morfologi berkerut serta konfigurasi berlapis ini merupakan indikator bahwa graphene oxide berhasil disintesis dengan baik melalui metode oksidasi.

Sedangkan hasil pengujian performasi perpindahan panas yang terjadi pada radiator terlihat pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Pengujian perpindahan panas radiator

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara laju aliran massa (*flow rate*) dan perbedaan suhu (*temperature difference*) pada radiator ketika menggunakan nanofluida Grafena oksida (GO) berbasis beberapa fluida dasar, yaitu deionised water, campuran etilen glikol/air (EG/W) 20:80, 30:70, dan 60:40. Perbedaan suhu (ΔT) digunakan sebagai indikator besarnya perpindahan panas, di mana nilai ΔT yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan pendinginan yang lebih besar. Secara umum, seluruh kurva memperlihatkan bahwa kenaikan laju aliran massa dari 200 hingga 420 LPH menyebabkan penurunan ΔT , mengindikasikan bahwa fluida memiliki waktu kontak yang lebih singkat di dalam radiator sehingga perpindahan panas sedikit berkurang pada debit yang lebih tinggi.

Nanofluida berbasis air terdeionisasi menunjukkan ΔT paling rendah dibandingkan fluida dasar lainnya pada seluruh rentang laju aliran. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun GO meningkatkan konduktivitas termal, kapasitas panas spesifik air yang tinggi serta viskositas rendah menyebabkan perpindahan panas terjadi lebih cepat, sehingga ΔT cenderung kecil. Grafik menunjukkan ΔT menurun dari sekitar 15 °C pada 200 LPH menjadi sekitar 12 °C pada 420 LPH. Pada campuran EG/W 20:80, ΔT lebih tinggi dibandingkan deionised water namun tetap lebih rendah dibanding campuran EG yang lebih pekat. Penurunan ΔT yang relatif stabil menunjukkan bahwa komposisi EG yang rendah tetap mempertahankan kemampuan aliran yang baik. Struktur GO berdispersi dalam medium EG/W 20:80 memberikan peningkatan perpindahan panas sekitar 10–15% dibanding deionised water. Campuran ini menunjukkan performa termal yang lebih baik dibanding 20:80. ΔT yang dicapai berada pada kisaran 17–20 °C.

Peningkatan viskositas akibat persentase EG yang lebih tinggi menyebabkan intensitas turbulensi dan waktu tinggal fluida meningkat, sehingga perpindahan panas meningkat. GO sebagai nanopartikel konduktif berperan dalam meningkatkan jalur konduksi termal pada fluida. Nanofluida GO berbasis EG/W 60:40 menunjukkan ΔT paling tinggi pada semua variasi laju aliran, yakni dari sekitar 26 °C pada 200 LPH menjadi sekitar 20 °C pada 420 LPH. Hal ini menandakan bahwa kombinasi viskositas tinggi dari EG dengan peningkatan konduktivitas termal GO menghasilkan kinerja perpindahan panas tertinggi. Konsentrasi EG yang tinggi membuat perpindahan panas berlangsung lebih lambat, sehingga ΔT menjadi lebih besar, dan kontribusi nanopartikel GO semakin signifikan dalam memperbaiki jalur perpindahan kalor.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Efisiensi pendinginan mesin meningkat dengan menggunakan nanofluida grafena oksida jika dibandingkan dengan air dan campuran 50% air : 50% etilen glikol; dan
2. Kemampuan perpindahan panas meningkat terhadap semakin besarnya konsentrasi nano partikel Grafena Oksida dan laju aliran sirkulasi fluida.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Pembimbing Tugas Akhir Dr. Ir. Ismojo, M.T., IPM. dan Pengudi Tugas Akhir Dipl. Ing. Mohammad Kurniadi Rasyid, M.M.

Daftar Pustaka

- [1]Kılınç F, Buyruk E, Karabulut K. Experimental investigation of cooling performance with graphene based nano- fluids in a vehicle radiator. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 56(2), 521–530. 2020.
- [2]Sonia P, Chandrashekhar R, Hayder N, Reddy KSK, Lakhpal S., Arora D, Prasad NEC. Thermal Analysis of Radiator Using Sustainable Graphene oxide Nanofluid Mixture of Ethylene Glycol and Water. *E3S Web of Conferences*, 552. 2024.
- [3]Shankara RP, Banapurmath NR, D’Souza A, Sajjan AM, Ayachit NH, Khan TMY, Badruddin IA, Kamangar S. An insight into the performance of radiator system using ethylene glycol-water based graphene oxide nanofluids. *Alexandria Engineering Journal*, 61(7), 5155–5167. 2022.
- [4]Yaw CT, Koh SP, Sandhya M, Kadrigama K, Tiong SK, Ramasamy D, Sudhakar K, Samykano M, Benedict F, Tan CH. Heat Transfer Enhancement by Hybrid Nano Additives—Graphene Nanoplatelets/Cellulose Nanocrystal for the Automobile Cooling System (Radiator). *Nanomaterials*, 13(5). 2023.